

## Field effect transistor used in a switching arrangement comprises a gate region between a source region and a drain region

Publication number: DE10036897 (C1)

Publication date: 2002-01-03

Inventor(s): KRETT JOHANNES [DE]; LUYKEN JOHANNES R [DE]; ROESNER WOLFGANG [DE]

Applicant(s): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]

Classification:

- international: B82B1/00; B82B3/00; H01L21/335; H01L29/15; H01L29/16; H01L29/76; H01L29/775; H01L29/78; H01L51/30; H01L51/00; B82B1/00; B82B3/00; H01L21/02; H01L29/02; H01L29/66; H01L51/05; H01L51/00; (IPC1-7): H01L29/775; B82B1/00; B82B3/00; H01L51/20; H01L51/30

- European: H01L29/775; H01L21/335D; H01L29/06C6; H01L29/786C; H01L51/05B2B; Y01N4/00

Application number: DE20001036897 20000728

Priority number(s): DE20001036897 20000728

Also published as:

US2003132461 (A1)

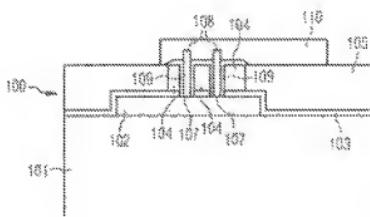
US6740910 (B2)

EP1305834 (A1)

WO20011216 (A1)

### Abstract of DE 10036897 (C1)

Field effect transistor comprises a gate region (104) between a source region (102) and a drain region (110). The gate region contains a conducting material provided with a passage with a nano-element electrically coupled with the source region and the drain region. The nano-element is arranged and structured in such a way that it can be controlled via gate region and it forms a channel region. An independent claim is also included for a process for the production of the field effect transistor. Preferred Features: The nano-element is a nano-tube and/or nano-wire. The gate region is a conducting layer. The nano-wire is a silicon nano-wire. The nano-tube is a carbon nano-tube. The nano-element has a heterostructure with an electrically insulating region between a first metallic region and a second metallic region.



Data supplied from the *esp@cenet* database — Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑬ **DE 100 36 897 C 1**

⑩ Int. CL<sup>7</sup>:  
**H 01 L 29/775**  
H 01 L 51/20  
H 01 L 51/30  
B 82 B 1/00  
B 82 B 3/00

⑩ Aktenzeichen: 100 36 897.2-33  
⑩ Anmeldetag: 28. 7. 2000  
⑩ Offenlegungstag: –  
⑩ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 3. 1. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑩ Patentinhaber:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

⑩ Vertreter:  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München

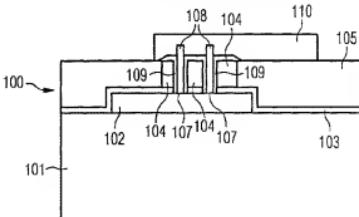
⑩ Erfinder:  
Kretz, Johannes, 80538 München, DE; Luyken,  
Johannes R., 81825 München, DE; Rösner,  
Wolfgang, 81739 München, DE

⑩ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik,  
Springer-Verlag, ISBN 3-540-06224-6, S. 130-157,  
1973;  
C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular  
Quantum  
Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999;

Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered  
Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays,  
Applied  
Physics Letters, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049,  
Oktober 1999;  
Z.F. Ren et al, Synthesis of Large Arrays of  
Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass,  
SCIENCE,  
Volume 282, S. 1105-1107, November 1998;  
N.Wang et al, Si nanowires grown from silicon  
oxide, Chemical Physics Letters, Vol. 299,  
S. 237-242, 1999;  
D. Goldberg et al, Fine Structure of boron nitride  
nanotubes produced from carbon nanotubes by a  
substitution reaction, Journal of Applied Physics,  
Vol. 86, S. 2364-2366, 1999;

⑩ Feldeffekttransistor, Schaltungsanordnung und Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors

⑩ Der Gate-Bereich eines Feldeffekttransistors weist mindestens ein Durchgangsloch auf, in dem ein Nanoelement vorgesehen ist, das mit Source und Drain elektrisch gekoppelt ist. Das Nanoelement ist über das Gate in seiner Leitfähigkeit steuerbar, so dass das Nanoelement einen Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.



DE 100 36 897 C 1

DE 100 36 897 C 1

## Beschreibung

- [0001] Die Erfindung betrifft einen Feldefekttransistor, eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Feldefekttransistors.
- [0002] Ein solcher Feldefekttransistor, eine solche Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Herstellen eines Feldefekttransistors sind aus [1] bekannt.
- [0003] Ein üblicher Feldefekttransistor weist einen Source-Bereich, einen Drain-Bereich sowie einen zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich sich befindenden Kanal-Bereich auf.
- [0004] Weiterhin weist ein üblicher Feldefekttransistor einen Gate-Bereich auf, bei dem durch Anlegen einer Spannung, die heißt eines elektrischen Potentials an den Gate-Bereich, die elektrische Leitfähigkeit des Kanal-Bereichs gesteuert wird derart, dass der Feldefekttransistor entweder elektrisch sperrend oder elektrisch leitend betreibbar ist.
- [0005] Ein üblicher Feldefekttransistor basiert auf reiner Halbleiter-Mikroelektronik, die beispielsweise Silizium-Technologie einsetzt. Die herkömmliche Silizium-Mikroelektronik hat jedoch physikalische Grenzen insbesondere bei fortschreitender Verkleinerung der elektronischen Baulemente, beispielsweise bei Verkleinerung der Dimension eines Feldefekttransistors.
- [0006] Weiterhin ist die bekannte Halbleiter-Technologie, bei der Halbleiterschichten übereinander abgeschieden werden und die einzelnen Bereiche des Feldefekttransistors in den einzelnen Schichten durch Dotierung der jeweiligen Bereiche mit Dotierungssatomen gebildet werden, nicht für eine wirkliche dreidimensionale Integration in einer elektronischen Schaltungsanordnung geeignet.
- [0007] Weiterhin sind aus [2] Grundlagen über sogenannte Carbon-Nanoröhren, die im weiteren als Kohlenstoff-Nanoröhren bezeichnet werden, bekannt. Ein Verfahren zum Herstellen von Kohlenstoff-Nanoröhren durch Aufwachsen der Kohlenstoff-Nanoröhren auf einem Substrat ist aus [3] und [4] bekannt.
- [0008] Weiterhin ist aus [5] ein Verfahren zum Herstellen eines Silizium-Nanodrahtes bekannt.
- [0009] Ferner ist es aus [6] bekannt, eine Kohlenstoff-Nanoröhre mit Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen zu dotieren, so dass aus einer halbleitenden Kohlenstoff-Nanoröhre oder einer metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhre eine elektrisch isolierende Bor-Nitrid-Nanoröhre entsteht.
- [0010] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, einen Feldefekttransistor, eine Schaltungsanordnung, sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Feldefekttransistors anzugeben, das für eine dreidimensionale Integration besser geeignet ist als Feldefekttransistoren, die ausschließlich auf der in [1] beschriebenen Technologie-Prinzipien beruhen.
- [0011] Das Problem wird durch den Feldefekttransistor, durch die Schaltungsanordnung, sowie durch das Verfahren zum Herstellen eines Feldefekttransistors mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.
- [0012] Ein Feldefekttransistor weist einen Source-Bereich, einen Drain-Bereich und einen Gate-Bereich auf. Der Gate-Bereich ist zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich angeordnet. Der Gate-Bereich, der aus leitfähigem Material gebildet ist, beispielsweise aus einer leitfähigen Schicht mit Aluminium, Titan, Wolfram, Gold, Silber oder einer Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien, weist mindestens ein Durchgangsloch, welches auch als Pore bezeichnet wird, auf. Grundsätzlich ist eine beliebige Anzahl von Durchgangslöchern in dem Gate-Bereich vorgesehen.
- [0013] In dem Durchgangsloch oder in der Vielzahl von Durchgangslöchern ist mindestens ein Nanoelement vorge- sehen, welches mit dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich des Feldefekttransistors elektrisch gekoppelt ist.
- [0014] Unter einem Nanoelement ist in Rahmen der Erfindung beispielsweise eine Nanoröhre und/oder ein Nanodraht, beispielsweise eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre oder ein halbleitender Silizium-Nanodraht zu verstehen.
- [0015] Das Nanoelement kann jedoch auch eine Heterostruktur aufweisen mit mehreren Bereichen, vorzugsweise einem ersten metallisch leitenden Bereich, einem zweiten elektrisch leitenden Bereich und einem elektrisch isolierenden Bereich, der zwischen dem ersten metallisch leitenden und dem zweiten metallisch leitenden Bereich angeordnet ist.
- [0016] Die Bereiche können sowohl in einer einstückigen Struktur, beispielsweise einer Kohlenstoff-Nanoröhre durch Ausbilden unterschiedlicher elektrischer Eigenschaften in unterschiedlichen Bereichen der jeweiligen Nanoröhre oder in einem Silizium-Nanodraht gebildet werden.
- [0017] Die Heterostruktur kann jedoch auch durch entsprechende, mit ausreichender Genauigkeit durchgeführtes Zusammenfügen der einzelnen Bereiche als Teilelemente gebildet werden, die insgesamt die oben beschriebene Heterostruktur ergeben.
- [0018] Durch die Erfindung wird es erstmals möglich, einen Feldefekttransistor einzusetzen, der für eine wirkliche dreidimensionale Integration innerhalb einer integrierten Schaltung im Rahmen der Mikroelektronik eingesetzt werden kann.
- [0019] Ferner ist die Dimension, die heißt der Platzbedarf auf einer Chipfläche eines solchen Feldefekttransistors gegenüber einem bekannten Feldefekttransistor erheblich geringer, da der Kanal-Bereich bildende Nanodraht beziehungsweise die Nanoröhre sehr klein ausgestaltet ist, das heißt einen Durchmesser aufweist von bis zu lediglich 1 nm.
- [0020] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste metallisch leitende Bereich der Nanoröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre ist oder ein Teil einer Kohlenstoff-Nanoröhre, die in dem ersten metallisch leitenden Bereich metallisch leitend ist. Der zweite metallisch leitende Bereich kann ebenfalls eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre sein oder ein Teilbereich der Kohlenstoff-Nanoröhre, welche auch den ersten metallisch leitenden Bereich aufweist, wobei der zweite metallisch leitende Bereich ebenfalls metallisch leitend ist.
- [0021] Zwischen den beiden metallisch leitenden Bereichen ist ein elektrisch isolierender Bereich der Nanoröhre als Bor-Nitrid-Nanoröhre ausgebildet.
- [0022] Für den Fall, dass eine Kohlenstoff-Nanoröhre mit zwei metallisch leitenden Bereichen und einem zwischen den metallisch leitenden Bereichen sich befindenden elektrisch isolierenden Bereich vorgesehen ist, wird der jeweilige elektrisch isolierende Bereich gebildet durch entsprechende Dotierung des jeweiligen Bereichs mit Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen, wie in [6] beschrieben.
- [0023] Der Source-Bereich kann gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ein für das Bilden, das heißt das Aufwachsen oder das Abscheiden aus der Gasphase katalytisch wirkendes Material enthalten, wie in [3] und [4] beschrieben.
- [0024] Das für das Bilden der Nanoröhren katalytisch wirkende Material kann Nickel, Kobalt, Eisen oder eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien enthalten.
- [0025] Aufgrund dieser Ausgestaltung der Erfindung wird das Bilden einer Nanoröhre erheblich beschleunigt, wodurch das Herstellen des Feldefekttransistors noch kostengünstiger gestaltet wird.

- [0026] Das Nanoelement ist derart in dem Durchgangsloch angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist. Auf diese Weise bildet das Nanoelement anschaulich den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors.
- [0027] Wird eine Kohlenstoff-Nanoröhre als Nanoelement eingesetzt, so weist die sich ergebende Struktur, das heißt der damit sich ergebende Feldeffekttransistor insbesondere den Vorteil auf, dass eine Kohlenstoff-Nanoröhre sehr einfach handhabbar und stabil ist, so dass die Fehleranfälligkeit eines solchen Feldeffekttransistors weiter verringert wird.
- [0028] Durch Einsatz einer Heterostruktur wird anschaulich ein Feldeffekttransistor gebildet, der auf der Basis eines Tunnelprinzips elektrischer Ladungsträger beruht, wobei das Tunneln steuerbar ist aufgrund des elektrischen Potentials, welches an den Gate-Bereich angelegt wird.
- [0029] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Drain-Bereich Nickel, Kobalt oder eine Legierung aus Nickel und/oder Kobalt enthält.
- [0030] Eine Schaltungsanordnung weist mindestens einen Feldeffekttransistor der oben dargestellten Art auf.
- [0031] Eine solche Schaltungsanordnung hat insbesondere den Vorteil der erhöhten, auch dreidimensional nun mehr vollständig möglichen Integration und mit dem damit verbundenen verringerten Platzbedarf, das heißt einer erheblich erhöhten Integrationsdichte der Bauelemente auf einem Chip.
- [0032] Bei einem Verfahren zum Herstellen des oben beschriebenen Feldeffekttransistors wird auf einem Substrat eine Source-Schicht aufgetragen, wobei als Substrat undotiertes oder dotiertes Silizium, Glas, Quarz oder auch Saphir eingesetzt werden kann.
- [0033] Auf der Source-Schicht wird eine elektrisch leitende Gate-Schicht aufgetragen. In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht mindestens ein Durchgangsloch gebildet, vorzugsweise mittels Trockenätzens, da bei Einsatz eines Trockenätzverfahrens zum Bilden der Durchgangslöcher in dem Gate-Bereich insbesondere vertikale Strukturen sehr exakt ätzbar sind.
- [0034] In das Durchgangsloch wird mindestens ein Nanoelement eingebracht, welches mit der Source-Schicht elektrisch gekoppelt ist.
- [0035] Das Nanoelement ist dabei derart angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.
- [0036] Das Nanoelement wird für den Fall, dass es eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist, beispielsweise auf einem sich auf dem Boden des Durchgangslochs befindenden Katalysator-Materials aufgewachsen oder auch abgeschieden.
- [0037] Alternativ ist es vorgesehen, eine Kohlenstoff-Nanoröhre außerhalb des Durchgangslochs zu bilden und anschließend mechanisch in dem Durchgangsloch zu platzieren beispielsweise unter Verwendung eines Rasterkraftmikroskops derart, dass die in das Durchgangsloch eingebrachte Kohlenstoff-Nanoröhre in elektrischen Kontakt mit dem Boden, das heißt mit der oberen Oberfläche der Source-Schicht kommt.
- [0038] Auf der Gate-Schicht wird eine Drain-Schicht aufgebracht derart, dass die Drain-Schicht ebenfalls mit dem Nanoelement elektrisch gekoppelt ist.
- [0039] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass das Nanoelement eine Länge aufweist, die größer ist als die Länge des Durchgangslochs, so dass sich das Nanoelement noch über die Oberfläche des Durchgangslochs hinaus erstreckt und sich somit bei Aufwachsen oder Abscheiden der Drain-Schicht auf der Gate-Schicht automatisch eine elektrische Kontaktierung der Drain-Schicht mit dem Nanoelement ausbildet.
- [0040] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren dargestellt und wird im weiteren näher erläutert.
- [0041] Es zeigen
- [0042] Fig. 1a bis 1c einen Feldeffekttransistor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zu unterschiedlichen Zeitpunkten während seines Herstellungsprozesses.
- [0043] Fig. 1a zeigt ein Substrat, gemäß diesem Ausführungsbeispiel aus Siliziumdioxid 101.
- [0044] In alternativen Ausführungsformen kann anstelle des Siliziumdioxids auch Quarz oder Saphir als Substrat 101 verwendet werden.
- [0045] Auf dem Substrat 101 wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens, das heißt einem Abscheideverfahrens aus der Gasphase oder eines Aufwachverfahrens oder mittels Aufdampfens oder Sputterns eine Source-Schicht 102 aus Nickel aufgebracht und mittels Photolithographie strukturiert. Die Source-Schicht 102 bildet in strukturierter Form den Source-Bereich des zu bildenden Feldeffekttransistors.
- [0046] Anstelle des Nickels kann für die Source-Schicht 102 als alternatives Material grundsätzlich jedes geeignete Metall, insbesondere Kobalt oder Eisen verwendet werden.
- [0047] Auf der die Source-Elektrode bildenden strukturierten Source-Schicht 102 sowie auf dem Substrat 101 wird in einem weiteren Schritt eine Dialuminiumtrioxid-Schicht (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 103 abgeschieden.
- [0048] Diese verglichen mit der Source-Schicht 102 relativ dünne Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 dient als Dielektrikum, mit dem die Gate-Elektrode, die durch eine im weiteren beschriebene Gate-Schicht gebildet wird, von der Source-Schicht 102 elektrisch isoliert wird.
- [0049] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Source-Schicht 102 ungefähr 100 nm dick und die Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 weist eine Schichtdicke von ungefähr 20 nm auf.
- [0050] Wie in Fig. 1a weiterhin dargestellt ist, wird in einem weiteren Schritt auf der Dialuminiumtrioxid-Schicht 103 eine Aluminium-Schicht abgeschieden und strukturiert, so dass die strukturierte Aluminiumschicht, die im weiteren als Gate-Schicht 104 bezeichnet wird, das Gate des zu bildenden Feldeffekttransistors 100 darstellt.
- [0051] Die Gate-Schicht 104 weist ebenfalls eine Dicke von etwa 100 nm auf und wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens, eines Aufdampf-Verfahrens oder eines Epitaxie-Verfahrens aufgebracht.
- [0052] Anstelle des Aluminiums kann gemäß einer alternativen Ausführungsform für die Gate-Schicht 104 Titan, Wolfram, Silber oder Gold verwendet werden.
- [0053] In einem weiteren Schritt (vergleiche Fig. 1b) wird eine weitere Schicht 105 aus Dialuminiumtrioxid abgeschieden mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens oder eines Abdampf-Verfahrens und die gebildete, grundsätzlich beliebig dicke weitere Schicht 105 wird mittels eines chemisch mechanischen Polierverfahrens (CMP-Verfahren) auf eine Dicke reduziert derart, dass die obere Oberfläche der weiteren Schicht 105 auf gleicher Höhe ist mit der oberen Oberfläche der Gate-Schicht 104.
- [0054] In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht 104 mittels beispielsweise Photolithographie und selbststrukturierten bekannten Verengungsmethoden Photolack auf der Gate-Schicht und der weiteren Schicht 105 aufgebracht und es erfolgt eine Strukturierung derart, dass in einem weiteren Schritt mittels Trockenätzens Löcher 106 in die Gate-Schicht 105 geätzt werden.
- [0055] Die auf diese Weise gebildeten Durchgangslöcher 106 weisen einen Durchmesser von ungefähr 1 nm bis

10 nm auf.

[0056] Das Trockenätzverfahren wird solange durchgeführt, bis sowohl in den gebildeten Löchern **106** das Material der Gate-Schicht **104** als auch das sich jeweils darunter liegende Material der Dialuminiumtrioxid-Schicht **103** entfernt wird.

[0057] Falls die verwendete Source-Schicht **102** nicht selbst die nötigen katalytischen Eigenschaften aufweist, wird in die Durchgangslöcher **106** in einem weiteren Schritt Material **107** aufgebracht, welches hinsichtlich eines weiteren beschriebenen Aufwachsens beziehungswise Abscheiden von Kohlenstoff-Nanoröhren oder Silizium-Nanodrähten in dem Durchgangsloch **106** katalytisch wirkt.

[0058] Als Material **107** wird gemäß diesem Ausführungsbeispiel Nickel, Kobalt oder Eisen verwendet.

[0059] In einem weiteren Schritt wird, wie in **Fig. 1c** dargestellt ist, mittels des in [3] beschriebenen Verfahrens in jedem Durchgangsloch mindestens eine einwändige oder mehrwändige Kohlenstoff-Nanoröhre abgeschieden unter Einsatz der katalytisch wirkenden Metalle **107**. Selbstverständlich kann auch das in [4] beschriebene Verfahren in diesem Zusammenhang eingesetzt werden.

[0060] Das Abscheiden erfolgt derart, dass die jeweilige Kohlenstoff-Nanoröhre über die katalytisch wirkenden Metalle **107** mit der Source-Schicht **102** elektrisch gekoppelt sind.

[0061] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel sind die aufgewachsenen Kohlenstoff-Nanoröhren halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0062] Die Kohlenstoff-Nanoröhren können mittels des bekannten Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Gate-Bereich, das heißt an die Gate-Schicht **104** in ihrer Leitfähigkeit gesteuert werden, so dass die Kohlenstoff-Nanoröhren **108** anschaulich die Funktionalität des Kanalbereichs eines Feldeffekttransistors aufweisen.

[0063] Alternativ zu den Kohlenstoff-Nanoröhren können in die Durchgangslöcher **106**, wie oben beschrieben, gemäß dem aus [5] bekannten Verfahren Silizium-Nanodrähte mittels selektiver Silizium-EPitaxie aufgewachsen werden.

[0064] Auch Silizium-Nanodrähte können im Rahmen dieser Erfindung mittels eines sich ausbildenden Feldeffekts als Kanal-Bereich eines Feldeffekttransistors verwendet werden.

[0065] In einem weiteren Schritt wird ein Teil des Metalls der Gate-Schicht **104**, insbesondere beispielsweise das Aluminium der Gate-Schicht **104** oxidiert, so dass sich eine dünne oxidierte Gate-Schicht, beispielsweise aus Dialuminiumtrioxid **109** zwischen der weiterhin aus Metall, beispielsweise aus Aluminium bestehenden Gate-Schicht und **50** den Nanoelementen, beispielsweise den Kohlenstoff-Nanoröhren oder den Silizium-Nanodrähten ausbildet.

[0066] In einem letzten Schritt wird auf der oxidierten Schicht **109** und der weiteren Schicht **105** eine weitere Metallschicht **110** als eine des Drains des Feldeffekttransistors bildende Drain-Schicht abgeschieden und mittels lithographischer Verfahren strukturiert.

[0067] Die Drain-Schicht **110** kann Nickel, alternativ auch Kobalt aufweisen.

[0068] Die Kohlenstoff-Nanoröhren **108** beziehungsweise **60** die Silizium-Nanodrähte weisen eine Länge auf derart, dass sie nach deren Abscheidung beziehungsweise deren Aufwachsen über die obere Oberfläche der oxidierten Schicht **109** hinausragen.

[0069] Auf diese Weise wird durch Abscheiden beziehungsweise Aufbringen der Drain-Schicht **110** automatisch ein elektrischer Kontakt zu dem Nanoelement geschaffen, das heißt beispielsweise zu der Kohlenstoff-Nanoröhre **108**

oder zu dem Silizium-Nanodraht.

[0070] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik, Springerverlag, ISBN 3-540-06224-6, Seite 130–157, 1973.
- [2] C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular Quantum Wires, Physics Today, S. 22–28, Mai 1999,
- [3] Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays, Applied Physics Letters, Volume **75**, Nr. 14, S. 2047–2049, Oktober 1999,
- [4] Z. F. Ren et al. Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, SCIENCE, Volume **282**, S. 1105–1107, November 1998,
- [5] N. Wang et al. Si nanowires grown from silicon oxide, Chemical Physics Letters, Vol. **299**, S. 237–242, 1999

- [6] D. Goldberg et al. Fine structure of boron nitride nanotubes produced from carbon nanotubes by a substitution reaction, Journal of Applied Physics, Vol. **86**, S. 2364–2366, 1999.

20

#### Bezugszeichenliste

- 100 Feldeffekttransistor
- 101 Substrat
- 102 Source-Schicht
- 103 Dialuminiumtrioxid-Schicht
- 104 Gate-Schicht
- 105 Weitere Schicht
- 106 Durchgangsloch
- 107 Katalytisches Material
- 108 Kohlenstoff-Nanoröhre
- 109 Oxidierte Gate-Schicht
- 110 Drain-Schicht

35

#### Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor mit einem Source-Bereich, mit einem Drain-Bereich, mit einem Gate-Bereich zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich, bei dem der Gate-Bereich leitfähiges Material enthält, in dem mindestens ein Durchgangsloch vorgesehen ist, bei dem in dem Durchgangsloch mindestens ein Nanoelement vorgesehen ist, das mit dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich elektrisch gekoppelt ist, und bei dem das Nanoelement derart angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet.
2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1, bei dem das Nanoelement eine Nanoröhre und/oder einen Nanodraht aufweist.
3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Gate-Bereich eine leitfähige Schicht ist.
4. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Nanoelement einen halbleitenden Nanodraht aufweist.
5. Feldeffekttransistor nach Anspruch 4, bei dem der Nanodraht einen Silizium-Nanodraht aufweist.
6. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Nanoelement eine halbleitende Nanoröhre aufweist.
7. Feldeffekttransistor nach Anspruch 6, bei dem die Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre aufweist.
8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das Nanoelement eine Heterostruktur aufweist, mit

- einem ersten metallisch leitenden Bereich,  
einem zweiten metallisch leitenden Bereich und  
einem elektrisch isolierenden Bereich, der zwischen  
dem ersten metallisch leitenden Bereich und dem zweiten  
metallisch leitenden Bereich angeordnet ist. 5
9. Feldeffekttransistor nach Anspruch 8,  
bei dem der erste metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre  
ist,  
bei dem der zweite metallisch leitende Bereich der Na- 10  
noröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nano-  
röhre ist, und  
bei dem der elektrisch isolierende Bereich der Nano-  
röhre eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ist.
10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 15  
bis 9, bei dem der Source-Bereich ein für das Bilden ei-  
ner Nanoröhre katalytisch wirkendes Material enthält.
11. Feldeffekttransistor nach Anspruch 10, bei dem  
das für das Bilden der Nanoröhre katalytisch wirkende  
Material mindestens eines der folgenden Materialien 20  
enthält:  
Nickel, und/oder  
Kobalt, und/oder  
Eisen, und/oder  
eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann- 25  
ten Materialien.
12. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1  
bis 11, bei dem der Gate-Bereich zumindest eines der  
folgenden Materialien enthält:  
Aluminium, und/oder 30  
Titan, und/oder  
Wolfram, und/oder  
Gold, und/oder  
Silber, und/oder  
eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann- 35  
ten Materialien.
13. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1  
bis 12, bei dem der Drain-Bereich zumindest eines der  
folgenden Materialien enthält:  
Nickel, und/oder 40  
Kobalt, und/oder  
eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genann-  
ten Materialien.
14. Schaltungsanordnung mit mindestens einem Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 13. 45
15. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransis-  
tors,  
bei dem auf einem Substrat eine Source-Schicht aufge-  
tragen wird,  
bei dem auf der Source-Schicht eine elektrisch leitfähig- 50  
e Gate-Schicht aufgetragen wird,  
bei dem in der Gate-Schicht mindestens ein Durch-  
gangsloch gebildet wird,  
bei dem in das Durchgangsloch mindestens ein Nano-  
element eingebracht wird, das mit der Source-Schicht 55  
elektrisch gekoppelt ist, wobei das Nanoelement derart  
angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-  
Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das  
Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet,  
bei dem auf der Gate-Schicht eine Drain-Schicht auf- 60  
gebracht wird derart, dass die Drain-Schicht mit dem  
Nanoelement elektrisch gekoppelt ist,  
16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Durch-  
gangsloch mittels Trockenätzens gebildet wird. 65

FIG 1a

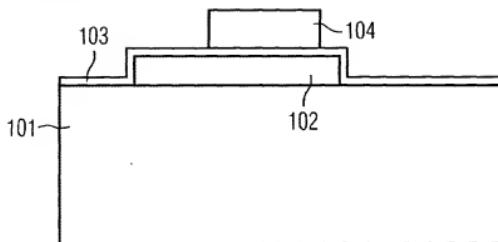


FIG 1b

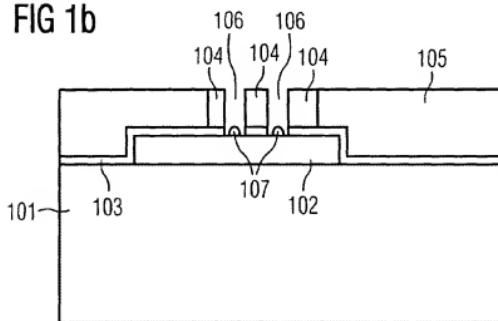


FIG 1c

